# Ⅰ．傾斜地用養液栽培装置の概略

動力ポンプを用いずに排液を再利用する傾斜地用の養液栽培装置には、つぎの４つの特徴がある。１）傾斜地でもすべての株に均一に培養液を供給できる。２）地形を利用することで低コストである。３）動力ポンプを用いることなしに原水圧のみで作動する。４）排液を新しい培養液に混入して再利用できる。

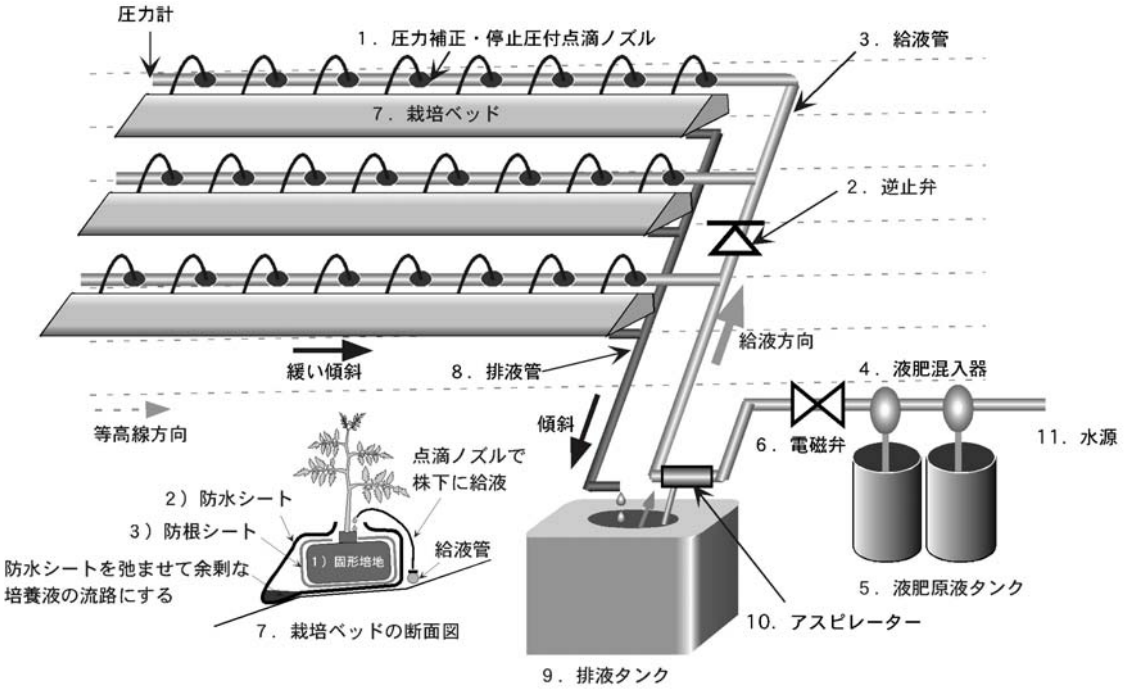


図１　傾斜地用養液栽培装置の概略

**１．圧力補正・停止圧機能付点滴ノズル**（写真１）

0.4 kgf/cm$^2$ よりも高い水圧のときに一定量の培養液を供給する。給液停止時には 4 m 以内の高低差ならば給液管内の培養液が漏れることはない。PE 管（給液管）に穴をあけて取り付け（写真１左）、専用のチューブと器具を通して一株ごとに作物の株下に培養液を導く（写真１右）。

写真１　点滴ノズル

**２．逆止弁**

高低差が 4 m を超える場合に挿入する。高い位置にある給液管内の培養液が低い方に逆流して点滴ノズルから漏れ出すことを防ぐ。

**３．給液管**

圃場斜面の下側から給液する。圃場内の最も高い場所で、給液管内の水圧が 0.4 kgf/cm$^2$ よりも高くなるように調節する。実際には１ kgf/cm$^2$ 以上とするのが望ましい（水理設計の項で

詳述)。図１のように給液管の末端に圧力計を設置すると良い。

**４．液肥混入器**（写真２）

液肥の原液を原水に混ぜて培養液を調製する。混合する割合を設定することで培養液の濃度を調節できる。動力を必要とせず、水圧で作動する。

写真２　液肥混入器

**５．液肥原液タンク**

硝酸カルシウムとそれ以外の成分を別々のタンクに、培養液の 100 倍ー200 倍の濃度で溶かしておく。

**６．電磁弁・タイマ**

電磁弁（写真左）を開閉することで培養液の供給を制御する。24 時間タイマ（写真中）で給液時刻と１日の給液回数を設定、サブタイマ（写真右）で１回の給液時間を設定する。２種類のタイマの組み合わせで給液量を管理できる。

写真３　電磁弁とタイマ

**７．栽培ベッド**

固形培地（ロックウール、杉皮やバークなどのバッグ）を防根シートで被い、防水シートで包んだだけの簡単な構造である。図１の断面図のように斜面を利用して下側に弛みを持たせて作物に吸収されなかった余剰な培養液（排液）が溜まるようにする。栽培ベッドを等高線方向から少しずらして設置することにより、排液を畝方向に流れるようにする。

写真４　栽培ベッドの設置作業

(1) 防水シートと防根シートを敷いて固形培地（バッグ）を並べる。

(2) 固形培地をシートで包む。

(3) 給液管の配管を行った後、トマトの定植を終えた栽培ベッド。

**８．排液管**

大きな水圧はかからないため、接着する必要はない。圃場の傾斜を利用して排液を流す。

**９．排液タンク**

圃場の最も低い場所に設置して排液管を通った排液が溜まるようにしておく。

**１０．アスピレーター**

水流ポンプとも呼ばれる器具である。給液時の水流によって動力ポンプを用いずに、タンクに溜まった排液を新しい培養液に混入して再利用する。混入率は給液量に対して２割程度である。排液タンクが空の時はアスピレーターを迂回して給液できるようにしておく。実際には図１と異なり、アスピレーターを排液の中に浸すように耐圧ホースで配管する。排液タンクが空になるとアスピレーターから空気が入り、培養液の供給が不充分になるため、タンクが空にならないように注意が必要である。排液を混入するには 400 L/hr 程度の流量が必要である。

**写真５　アスピレーター**

**１１．水源**

アスピレーターと液肥混入器を動かすには 3 kgf/cm$^2$ 以上の水圧が必要である。フィルターで汚れを取り除き、減圧弁で水圧を調整して利用する。灌漑設備を利用する場合には最大流量を事前に調べ、一回の給液をまかなうのに充分であることを確認しておく必要がある。

## II. 使用する資材一覧

**イ．給液関係**

**１．圧力補正・停止圧機能付点滴ノズル**

..... 次の４つの部品で構成される（ネタフィム社製）。

１）圧力補正付・ウッドペッカー水だれ防止 CNL ドリッパー（停止圧：0.4 kg f/cm$^2$）

２）ウッドペッカー用４枝マニフォールド

３）3 mm×5 mm PVC チューブ

４）ドロップスパイク

**２．給液管**

１）PE 管（ポリエチレンチューブ；直径 25 mm）

..... 穴をあけて点滴ノズルを取り付ける。

２）継ぎ手類..... チーズ、エルボ、エンドなどを給液管のつなぎ方に応じて使用する。

**３．逆止弁**

**ロ．給液制御関係**

**４．液肥混入器**..... ネタトロン、ドサトロンなどが市販されている。

**５．液肥原液タンク**... 黒色の樹脂製のタンクを用いる。

**６．電磁弁・タイマ**

１）電磁弁

２）タイマ・サブタイマ
..... 両方の機能を兼ね備えたタイプも市販されている。

**ハ．栽培ベッド関係**

**７．栽培ベッド**

１）固形培地..... ロックウールのブロックや杉皮繊維などを詰めたバッグを使用する。
２）白黒防水シート
３）防根透水シート
４）クリップ..... シートの端を留めるのに用いる。誘引用のクリップ類が便利である。

**ニ．排液回収・再利用関係**

**８．排液管**

１）塩ビ管..... 排液管には安価な塩ビ管が適当である。
２）継ぎ手類..... つなぎ方に応じて使用する。

**９．排液タンク**..... 栽培規模に応じて大きさや個数を決める（トマトの場合、500 株につき 1ー2 $m^3$ くらい）。

**１０．アスピレーター**

１）アスピレーター... アズワン社製の「水流ポンプ（金属製）」などが市販されている。
２）耐圧ホース・ホースバンド・ホース継ぎ手・減径ブッシング
..... アスピレーターを給液管に接続するために使用する。

**ヘ．水源関係**

**１１．水源**..... 高い場所に設置したタンクに貯めた湧き水や灌漑設備を利用する。
１）フィルター..... ディスクフィルター、サンドフィルターなど、水源の水質に応じて選択する。
２）減圧弁..... 水源水圧が高すぎる場合に使用する。

# III．養液栽培装置のメンテナンス

**イ．給液関係**

**１．圧力補正・停止圧機能付点滴ノズルの交換**

故障や破損により点滴ノズルを交換した場合や取り付けに失敗した場合は PE 管にあけた穴を塞ぐ必要がある。穴を塞ぐための資材（ネタフィム社プラグ 3 ㎜×7 ㎜用）も市販されている。

**２．給液管**

ときどき給液管の末端（エンド）を外し、電磁弁を手動で開いて給液管内に溜まったゴミを流し出す。エンドの代わりにバルブを取り付けておくと作業が簡単になる。１作終了したら専用の洗浄剤（大塚化学のチューブクリーンなど）で洗浄する。処方は洗浄剤の取扱説明書に従う。手順は次の通り。

１）給液管の末端を開いて、水を流してゴミを除く。
２）末端を閉じる。
３）使用する５倍の濃度で洗浄剤を溶かしておく。
４)水を給液し､溶かしておいた洗浄剤をアスピレーターから吸入させて洗浄液を給液管に流す。
５）洗浄液を給液管に満たした状態で１日置く。

６）給液管の末端を開き、洗浄液を給液管から抜く。
７）末端を閉じ、給液管に水を流して洗浄液を洗い流す。

**３．逆止弁**

給液ムラが生じたときは、ゴミが挟まることによる培養液の逆流がないか確認して必要ならば掃除をする。

**ロ．給液制御関係**

**４．液肥混入器**

長期間使用すると混入率が狂うことがある。主な故障原因は原水に土砂などが流入して汚れることと考えられる。少容量の容器に取り分けた液肥原液を混入させたり、培養液の EC を測定することで、液肥原液が設定した濃度で混入されているか定期的に確認する。交換部品も市販されているので自分で修理することも可能である。

**５．液肥原液タンク**

液肥原液を使い切ったときに沈殿が溜まっていたら適宜洗浄する。

**６．電磁弁・タイマ**

設定時刻以外に給液を行うときにはタイマのスイッチを触らずに電磁弁を手動で直接開く方が良い（スイッチの戻し忘れを防ぐため）。

**ハ．栽培ベッド関係**

**７．栽培ベッド**

栽培期間中は特にメンテナンスをする必要はない。固形培地は数年使用可能である。

**ニ．排液回収・再利用関係**

**８．排液管**

目詰まりに注意する。エルボなど継ぎ手の部分にゴミが溜まりやすいので外して清掃する。

**９．排液タンク**

満杯になったときは適宜排液を廃棄する。オーバーフローするようにしておいても良い。

**１０．アスピレーター**

目詰まりがないかときどき確認する。排液タンクが空にならないように注意する。万一、細菌性性の病害（青枯れ病、軟腐病）が発生したときは排液の再利用を直ちに中止する。

ヘ．水源関係

**１１．水源**

原水の汚れ具合に応じて適当な頻度でフィルターの清掃を行う。土砂の流入など原水が汚れやすい環境ではサンドフィルターなどを設ける必要がある。

## IV. 水理設計のポイント

傾斜地用養液栽培装置を原水圧のみで稼働させる場合、最も気をつけなければならないのは給液管内に充分な水圧と流量を確保することである。厳密な水理設計（流量と水圧などの関係を明確にし、計画を立てること）はやや複雑であるので、大まかな考え方を説明する。このため一般的な水理設計の教科書と若干表現が異なる。厳密な設計が必要な場合には専門書を参照していただきたい。

**１．用語説明**

・水圧・水頭

給液管内の培養液の圧力について議論するときには、水圧と水頭はほぼ同じ意味だと考えて良い。水圧の単位はPa（パスカル）、kgf/cm$^2$（キロ）などである。水頭はm（メートル）で表す。「１キロの水圧」という場合には「1kgf/cm$^2$の水圧」の意味であり、「10mの水頭」に等しく、およそ0.1MPa（メガパスカル）の水圧である。

・流量・流速

「流量」とは単位時間内に流れる流体の量（通常は体積であらわす）のことである。「流速」は流体の移動する速さのことである。同じ流量でも断面積の小さな管を流れる流体ほど流速は速くなる。体積で表した流量を管の断面積で除したものが流速になる。

・圧力損失・損失水頭

電磁弁や液肥混入器を、水や培養液が通過すると上流側よりも下流側の水圧が低くなる。これを圧力損失あるいは損失水頭と呼ぶ。機材だけでなく、流体と給液管の壁との摩擦や、管の曲がりも圧力損失の原因となる。装置の規模を変更する際、圧力損失は流量の二乗に比例して大きくなると考えて概算することができる（表１参照）。液肥混入器やPE管では大体この関係が成り立っている。

・損失係数

流速や流量を乗ずることで圧力損失の大きさを算出するための係数。灌漑水路の設計など水理設計の分野では無次元の数として定義されている。流速の二乗を重力加速度の２倍で除したものと損失係数との積が損失水頭である。直感的には、損失係数と流量および圧力損失との関係は、電気回路において電気抵抗に電流を乗ずると電圧になるという関係に似ている。給液装置の規模を変更する際、流量が増えたらどうなるかを大まかに考える上で便利な概念である。

## ２．給液装置の設計

傾斜地用養液栽培装置では、培養液を点滴ですべての株に均一に供給するために圧力補正・停止圧機能付き点滴ノズルを使用することが必須である。すべてのノズルから同じ量の培養液を吐出させるためには 1 kgf/cm$^2$ 以上の給液管内の水圧とすることが望ましい。養液栽培の規模によりノズルの数が決まり、給液時の流量が決まるので圧力損失の大きさの計算は容易である。たとえば吐出量 3 L/hr のノズルを 100 個用いたならば装置の設計上の流量は 300 L/hr である。設計上の流量のときの各種の圧力損失を原水圧から差し引いて給液管内が 1 kgf/cm$^2$ であるように設計すればよい。

表１：流量が異なった場合の圧力損失の例（およその値）

| | 500L/hr | 1000L/hr |
|---|---|---|
| アスピレーター | 2kgf/cm$^2$ | |
| 液肥混入器（ネタトロン） | 0.2kgf/cm$^2$ | 0.9kgf/cm$^2$ |
| ディスクフィルタ（200 メッシュ） | 0.05kgf/cm$^2$ | 0.09kgf/cm$^2$ |
| 電磁弁 | 0.04kgf/cm$^2$ | 0.05kgf/cm$^2$ |
| PE 管の摩擦抵抗（内径 20mm）100m あたり | 0.15kgf/cm$^2$ | 0.55kgf/cm$^2$ |
| PE 管の摩擦抵抗（内径 25mm）100m あたり | 0.05kgf/cm$^2$ | 0.19kgf/cm$^2$ |

アスピレーターは実測値、液肥混入器、電磁弁は実測に基づいた推定値（液肥混入器では混入率によっても圧力損失が変わると考えた方がよい）。ディスクフィルタは取扱説明書に流量と圧力損失の関係図が記載されていることが多い。管の摩擦抵抗による損失は、水理設計の教科書に

もある「ヘーゼン–ウィリアムズ式」などから計算できる。大まかには、管が細いと流速が速く、それに伴い摩擦抵抗も大きくなると考えればよい。

圧力損失の大きさは、おおむね

**液肥混入器＞ディスクフィルタ＞電磁弁、逆止弁＞管の摩擦抵抗＞管の曲がり**

の順番となる。液肥混入器による圧力損失が格段に大きく、排液の再利用にアスピレーターを使用する場合にはさらに圧力損失が大きくなる。また、通常の規模の養液栽培装置であれば管の摩擦抵抗が問題となるレベルになることは少ない。ただし、点滴ノズルを取り付けた給液管の場合、普通の PE 管よりも摩擦抵抗が大きくなると同時に、下流（末端）側では流量が減少するため、圧力損失の程度を見積もることは難しくなる。

いずれにしても給液管内の水圧を厳密に計算することは難しいので、余裕を持って設計し、装置が完成したら給液管の最も高い位置で給液管内の水圧を測定するとともに、最も高い位置にあるノズルから設計通りの吐出量が得られていること確認する。

原水を灌漑設備から得る場合には、給水口の静止水圧だけでなく、実際に使用する流量での水圧を測定し、充分であることを確認しなければならない。灌漑設備から水を取り出すと、灌漑水路の摩擦抵抗によって通常、静止水圧よりも水圧が低下する。同じ系統の他の場所で灌漑水が使用されても当然水圧は低下する。

## ３．付録

１）高設培養液タンクを用いる方法

高設タンクを 10ｍ 以上の高さに設けて、そこに培養液を一旦貯留してから給液する構造にすることも可能である（図２）。給液時に最も圧力損失の大きい液肥混入器を介さないため、水源の水圧が充分であれば時間あたり流量が大きくなくても、規模を大きくできる。また、排液を再利用する際、排液タンクが空になっても給液量の不足がおこらないという利点がある。灌漑設備の水供給の信頼性が低い場合には緊急用の給液系統として設けても良い。

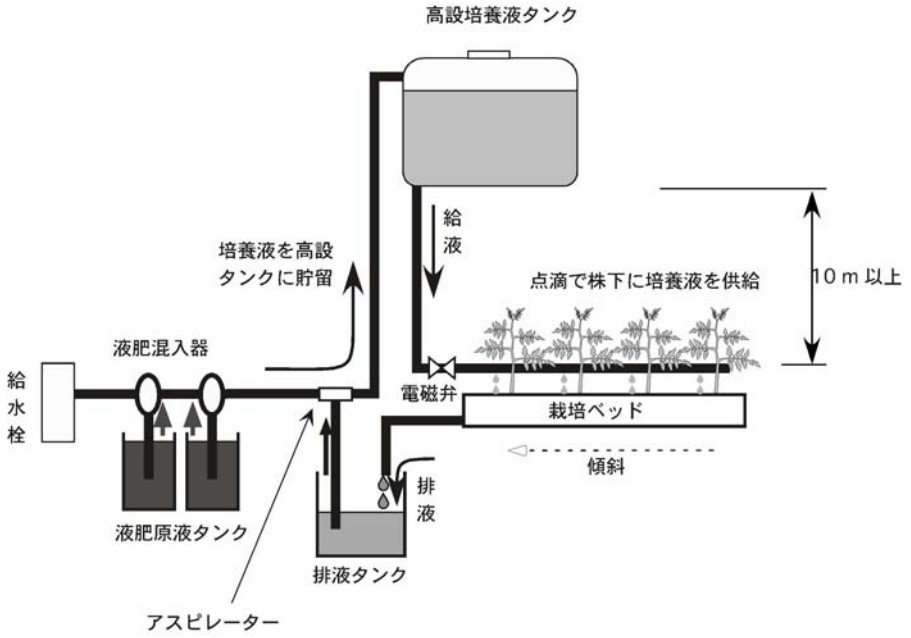


図２　高設培養液タンクを用いた場合の基本構成

２）水源との高低差が大きくない場合

高低差 20ｍ 程度の湧水を原水として用いる場合、栽培の規模が大きいと液肥混入器による圧力損失が大きく、給液管内の水圧が不充分になることがある。そのような場合、水源から液肥混入器が動作する最小の高低差の位置に培養液を貯留するタンクを設ける方法が考えられる（図３）。ただし、排液の再利用はできない。

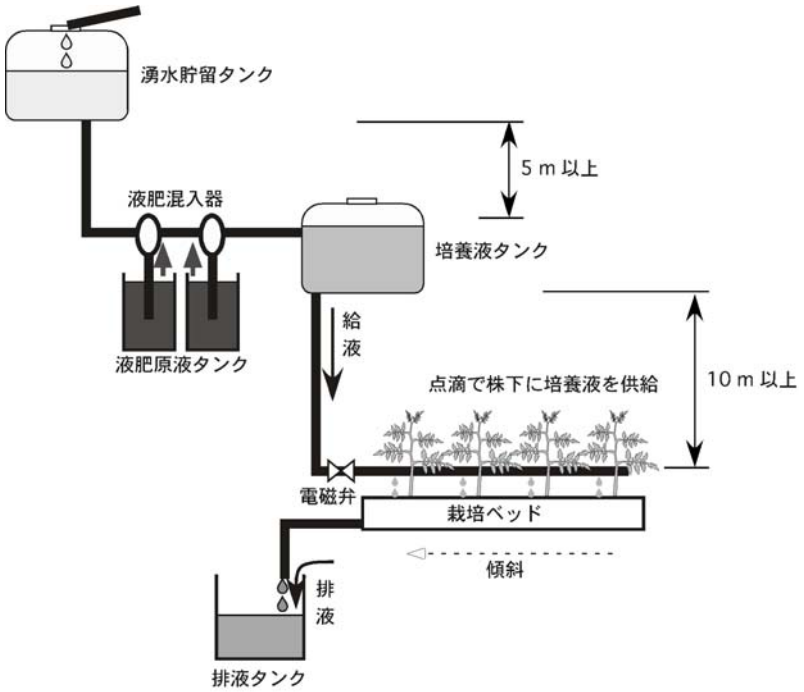


図３　水源との高低差があまり大きくない場合の基本構成

３）乱流・層流・レイノルズ数

傾斜地用養液栽培装置では、雨天時など培地が培養液で飽和しているにもかかわらず、過剰に給液を続けたために、排液がスムーズに流れる量を超えて排液管に流れ込み、流れきれない排液が栽培ベッドからあふれ出す事態となることがある。

管の中を培養液や排液などの液体が流れる様子は給液管の中の様に圧力がかかって速く流れる場合と、排液管の中の様に水圧があまりかからず、静かに流れる場合では全く異なる。給液管内では乱流状態（流れの中にさまざまな渦が常に存在している状態）で培養液が流れている。この場合、途中に管の曲がりや弁があったとしても極端に流れが妨げられることはない。これに対して、排液管内では層流と呼ばれる乱れのない状態で流れることが多い。このとき管に曲がりや継ぎ目など流れを乱すような部分があると、極端に流れが悪くなる。流れが乱れることで新たに発生・消失する渦に運動エネルギーが奪われるためと説明される。充分な排液の排出能力を確保するには、流れに乱れが生じないように排液管はできるだけなめらかに継ぐことが望ましい。

管の中の流れが乱流になるか、層流になるかの境界は経験的にレイノルズ数（管を流れる流体の場合、流速と管の径の積を流体の動粘性係数で除した無次元量）から推定できる。内径 25㎜の管の場合、130ー240 L/hr が境界である。これ以上流量が大きいと乱流となって、仮に排液管がなめらかに継いであったとしても排液はスムーズに流れなくなる。